

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Поддячая Екатерина Ивановна

Исследование методов фотограмметрической обработки архивных снимков

Выпускная квалификационная работа бакалавра

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
к.т.н., доц. А. Е. Войнаровский

«__»_____2017

Заведующий кафедрой:
к.т.н., доц. Е. А. Паниди

«__»_____2017

Санкт-Петербург
2017 г.

Содержание

Введение	3
Глава 1. Развития фотографии в доцифровой период.....	5
1.1. Способы фиксации изображения	5
1.2. История развития фотоаппаратуры.....	10
Глава 2. Методы проективной фотограмметрии	13
2.1. Стерефотограмметрическая обработка снимков с неизвестными элементами ориентирования.....	14
Глава 3. Методы классической фотограмметрии.	16
3.1. Принцип работы программного комплекса PhotoTransformator	16
3.2. Обработка одиночных снимков в программном комплексе PhotoTransformator ..	19
3.3. Обработка стереопар в программном комплексе Agisoft PhotoScan Professional .	22
Заключение.....	25
Список использованной литературы	26
Приложение А.....	28
Приложение Б.	34

Введение

Сохранение памятников истории и культуры всегда является актуальной задачей для общества. На их внешнем облике постоянно оставляют свои следы, как природа, так и человек. Природные катастрофы, войны, упадок экономики, социальная напряженность и просто смена приоритетов или идеологий в обществе меняют архитектурные памятники до неузнаваемости.

При этом необходимые для реконструкции чертежи сохраняются не всегда. Реставраторы вынуждены опираться на недостоверные словесные описания, живописные изображения и в большей степени на собственный опыт. В таких случаях архивные снимки совместно с методами фотограмметрической обработки могли бы стать ценным источником достоверной информации об архитектурных памятниках. Однако точное восстановление формы и размеров сооружения на их основе связано с рядом трудностей.

Во-первых, большинство старых снимков получены неметрическими камерами, а условия съёмки (даже фокусное расстояние) нигде не зафиксированы. Во-вторых, определить элементы внешнего ориентирования кадров часто так же невозможно – архитектурный памятник может быть перестроен, частично разрушен или утрачен полностью. В-третьих, длительное хранение неизбежно сказывается на качестве фотоснимков. Происходит выцветание, деформации и повреждения (например, обрывы) носителя.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы являлось найти оптимальный метод фотограмметрической обработки архивных снимков памятников архитектуры.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- выяснить особенности фотоснимков разного времени;
- изучить существующие методики обработки фотоснимков с неизвестными элементами ориентирования;
- оценить точность расчетов элементов ориентирования в программных продуктах Agisoft PhotoScan Professional и PhotoTransformator НПП «Фотограмметрия».

Структура выпускной квалификационной работы отражает перечисленные задачи и состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений с результатами практической части исследования. В Главе 1 содержится историческая справка о развитии процесса фотографирования (не затрагивая современных цифровых технологий), дающая представление о многообразии снимков, хранящихся в архивах на сегодняшний день. В Главах 2 и 3 представлены методы обработки архивных снимков с неизвестными элементами ориентирования.

Исходными данными для практической части работы, описанной в пунктах 3.2 и 3.3 являлись фотоснимки фасадов дворцово-паркового ансамбля «Михайловская дача», снятые специалистами НПП «Фотограмметрия» в 2006 году.

Основным методом исследования являлось сравнение с эталоном, в качестве которого использовались значения элементов ориентирования, рассчитанные по точкам геодезического обоснования.

Глава 1. Развития фотографии в доцифровой период.

1.1. Способы фиксации изображения

Первая попытка получить изображение с помощью камеры-обскуры проводились Гемфри Дэви и Томасом Веджвудом. В камеру экспонировалась обычная бумага, пропитанная раствором азотнокислого серебра и хлористого натрия (поваренной соли). В результате между бумажными волокнами образовывалось хлористое серебро, проявлявшее мало контрастное изображение различных фигур. При этом само экспонирование длилось часами, а изображение при рассмотрении на свету полностью исчезало. [21]

Задачу долговременного закрепления отпечатка первым решил Нисефор Ньепс. Свои эксперименты, для которых самостоятельно изготавливал камеры-обскуры различных размеров, он начал в 20-х годах XIX в. После продолжительных опытов и апробаций на светочувствительность различных химических соединений, он в конце концов остановился на сирийском асфальте (битуме). Порошкообразный асфальт Ньепс растворял в лавандовом масле, смешивая с угольной пылью, после чего наносил равномерным тонким слоем на различные подложки – стекло, цинковые, медные, серебряные пластинки, литографический камень. Уже к 1824 году он научился получать изображения на металле и камне, снимая виды из собственного окна. (Рис. 1)



Рис. 1. «Вид из окна в Ле Грасе» Н.Ньепс, 1826 г. Первая фотография в мире. [22]

Очевидно, что получаемые данным способом изображения мало напоминали современные фотоснимки, а технология имела два серьёзных недостатка: недостаточная чёткость и длительное (несколько часов) время экспозиции.

Разработанную технологию Ньепс назвал *гелиографией*, что буквально означает «письмо посредством солнца». В 1827 г. он представил доклад Лондонскому королевскому обществу, однако раскрыть механизм получения стойкого изображения отказался.

Примерно в одно время с Ньепсом над получением устойчивого изображения в камере-обскуре начал работать французский художник-оформитель Луи Жак Манде Дагер. Знакомство ученых состоялось в 1827 г., а сотрудничество продолжалось до самой смерти Ньепса. В течении почти трех лет они вели переписку, а в 1829 г. заключили договор о совместной работе по усовершенствованию гелиографии.

Основной интерес Дагера при этом состоял в улучшении изобразительных качеств отпечатка – увеличении чёткости и детальности. Желаемый результат был получен в 1837 г. Медная пластинка, покрытая составом на основе битума, выдерживалась в камере-обскуры, а затем обрабатывалась парами ртути. Проявившееся в результате такого процесса изображения (Рис. 2) отличалось чёткостью и подробностью, правда не могло быть размножено. [1]

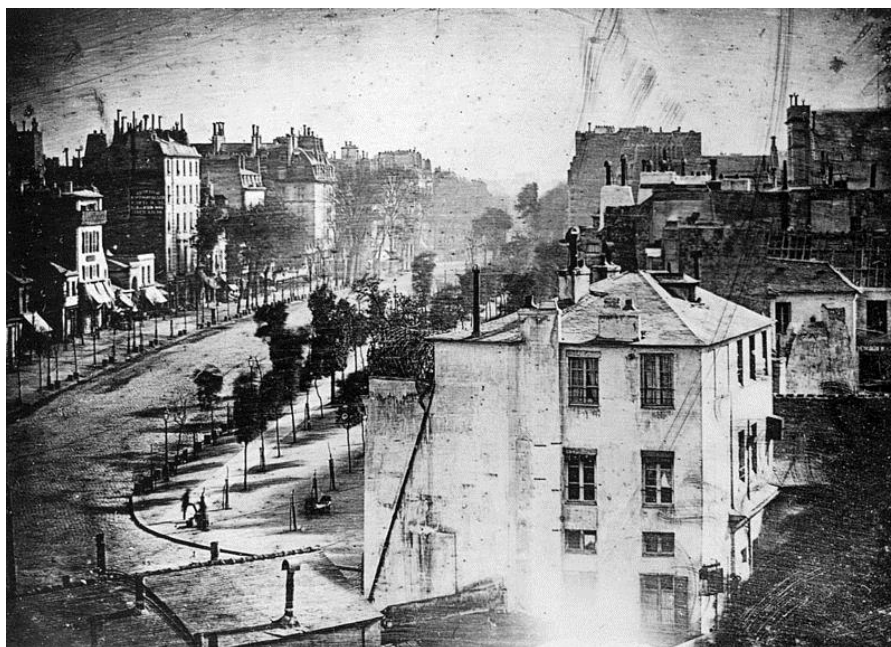


Рис. 2. Самое раннее дагеротипное изображение человека, полученное Дагером. Вид на бульвар дю Тампль, Париж. Весна 1838 года. [23]

По желанию изобретателя процесс получил название «*дагерротипия*», которое было внесено в качестве приложения в договор между Ньепсом и Дагером. В 1839 г. он был выкуплен у изобретателя французским правительством, которое разрешило любому использовать фотопроект как в пределах страны, так и за рубежом. Исключение составляла лишь Англия, где действовал патент.

Открытость технологии привела не только к её чрезвычайному распространению и, как следствие, огромному числу архивных материалов, полученных данным методом, но и позволила другим людям усовершенствовать процесс. Так, например, англичанин Джон Фредерик Годдард повысил светочувствительность дагеротипных пластинок, обработав их парами хлора и брома. Время экспозиции в результате уменьшилось до 1 минуты. [1, 21]

Одновременно с Дагером в Великобритании над получением устойчивого изображения фотохимическим путем работал Уильям Тальбот.

Первые фотографические опыты он начал делать в 1833 г., экспериментируя со светочувствительной бумагой, которую получал пропитыванием обычной бумаги раствором хлорида натрия и азотнокислым серебром. Так был получен первый в мире негатив форматом 25х25 мм (Рис. 3)

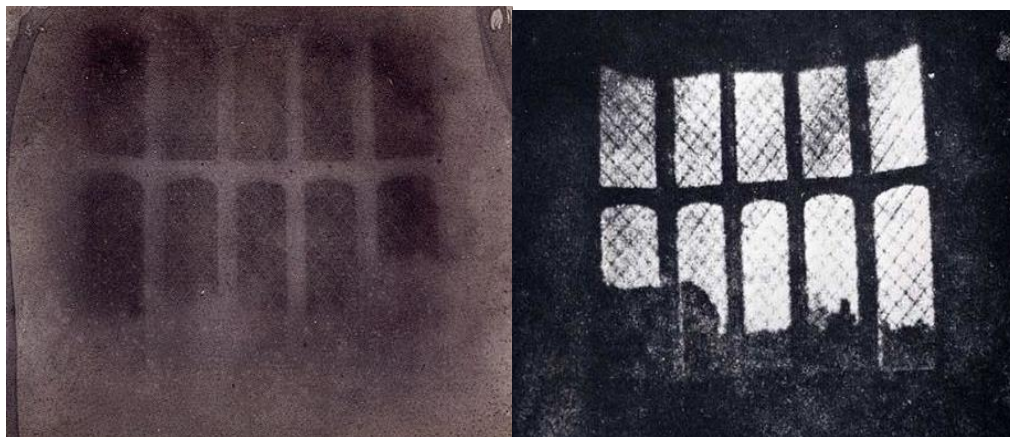


Рис. 3. Бумажный негатив и позитив окна. Тальбот, 1835 г. []

Однако метод нуждался в существенной доработке, так как качество изображения было много хуже в сравнении с дагеротипами. Изобретенный в результате попыток усовершенствования абсолютно новый процесс Тальбот назвал «*калотипией*» (от греч. kalos - красивый).

Позднее для закрепления изображения на основе исследований Джона Фридриха Вильяма Гершеля начал использоваться тиосульфат натрия. Полученный после промывки и сушки негатив копировался с навощенной бумажной основы на позитив. Для этого в темной лаборатории под негатив вкладывалась незасвеченная светочувствительная бумага, положение негатива и светочувствительной бумаги фиксировалось копировальной рамкой и вместе они подвергались солнечному освещению. [21]

Позитив проявлялся тем же самым способом, как и негатив, и обычно получался в различных оттенках коричневого цвета. С негатива в дальнейшем можно было получить любое количество копий.

Тальбот получил патент на изобретение калотипии (тальботипии), но она так никогда и не стала сверхпопулярной, так как чёткость мелких деталей была недостаточной. Чаще всего её использовали путешественники из-за легкости и мобильности бумаги по сравнению с медными пластинами. [1]



Рис. 4. Калотипия московского кремля. Роджер Фентон, 1852 г.

Еще один способ фиксации фотоизображений был разработан для устранения недостатками дагеротипии и калотипии (в особенности малой светочувствительностью съемочных материалов). Новый процесс был описан английским фотографом Фредериком Арчером в 1851 г. и назван название *мокрым коллодионным*.

Полученный снимки отличались высокой четкостью и выразительностью оттенков. К тому же для экспонирования изображения требовалось менее 30 секунд, а со стеклянной пластины было возможно получить любое количество копий, что окупало их вес и хрупкость.

Первоначально технология состояла из семи последовательных операций подготовки стеклянной пластины и обработки негатива, которые занимали достаточно много времени. Однако уже в 1852 г. Арчер усовершенствовал свой метод таким образом, что позитивное изображение получалось сразу из камеры. Достаточно было экспонировать снимок так, чтобы запись самых глубоких теней осталась полностью прозрачной (так называемый слабый негатив), а затем поместить на черный фон или покрыть черным лаком обратную сторону пластины.

Тем не менее оборудование для съёмки всё еще оставалось слишком громоздким, а работа с сырым коллодием неудобной, и поиски способов усовершенствовать мокрый коллодионный процесс продолжались.

В результате, в 1871 г. Ричардом Мэддоксом были изобретены бромосеребряная желатиновая эмульсия и «сухой» процесс, который позволял разделить во времени фотосъёмку и химикофотографическую обработку. Правда светочувствительность новой эмульсии была недостаточной. Только в 1879 г. бельгийский исследователь Ван Монкховен добился заметных улучшений, а полученный им состав моментально стал чрезвычайно популярным.

Более того, именно галогенидосеребряные желатиновые фотослои, хотя и со значительными усовершенствованиями, используются в фотографии до сих пор. [21]

1.2. История развития фотоаппаратуры

Первым прообразом современного аппарата считаются камера-обскура (Рис. 5). Это простейшее устройство работало на принципе, описанном еще Аристотелем – свет, проходящий через маленькое отверстие создает на противоположной стене перевернутое изображение окружающих объектов. Линейная перспектива при этом математически идеальна.

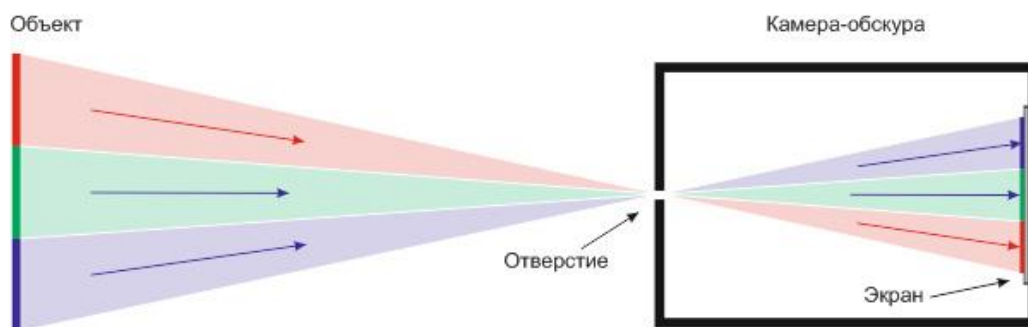


Рис. 5. Принципиальная схема действия камеры-обскуры. []

Ко времени первых фотографических экспериментов камера была значительно усовершенствована. В середине XVI века в её конструкцию добавилось плосковыпуклая линза, позволяющая усилить яркость изображения. Затем в 1611 г. немецким астрономом И. Кеплером была предложена оптическая схема из вогнутой и выпуклой линзы, увеличивающая угол поля зрения. [22] К началу же XIX в. конструкция большинства фотоаппаратов представляла собой бокс-камеру двух типов (Рис. 6). Первая состояла из ящика с тубусом, в который был встроен объектив (фокусировка производилась выдвиганием объектива), а вторая – из 2 ящиков, перемещавшихся один относительно другого (объектив устанавливался на передней стенке одного из ящиков). [20]



а)

б)

Рис. 6. Камера-обскура.

а) – с выдвижным тубусом в неразъемном корпусе [19]; б) – в раздвижном корпусе [18].

В 1847 г. в попытках уменьшить размер съемочного аппарата был изобретен складывающийся фокусировочный мех (в обиходе «гармошка»), изготавливавшийся из ткани или кожи и обеспечивал свободное перемещение объектива. Оснащенные им камеры получили название павильонных или штативных. (Рис. 7) [1]



Рис. 7. Павильонная камера. [25]

Примечательно, что в них была возможность сдвигать переднюю стенку с объективом относительно оптической оси. Параллельность задней стенке при этом сохраняется, в результате чего вытянутые в высоту объекты можно снять без изменения перспективы (Рис. 8).

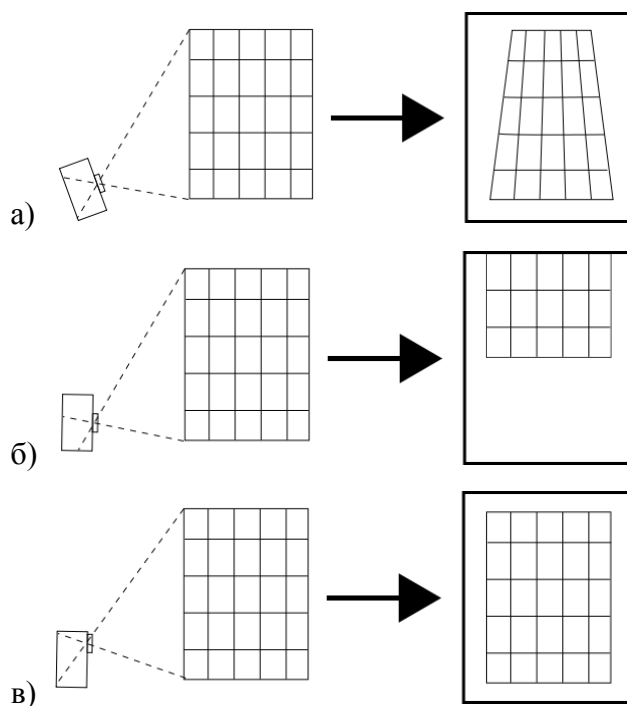


Рис. 8. Принцип действия штифт-объектива.

а) – наклон камеры приводит к вертикальным искажениям перспективы; б) – расположение камеры параллельно плоски позволяет снять только часть объекты; в) – съемка со смещение объектива позволяет снять весь объект целиком без искажений. [25]



Рис. 9. Пример снимка, полученного со смещением объектива относительно оптической оси.

Дальнейшие усовершенствования камер преимущественно связаны с сокращением времени экспозиции и стремлением создать легкий дорожный фотоаппарат. Так в 1855 году был запатентован ящичный фотоаппарат, который можно было разместить в женском ридикюле или в сумке врача. Для полиции в 1881 году были разработаны два ручных "детективных" фотоаппарата, позволявших получать моментальные снимки.

Появление в 1890-х гг. новых фотоматериалов с большой светочувствительностью, введение катушечной плёнки со светозащитной бумагой обеспечило постепенный массовый переход к легким и мобильным карманным складным фотоаппаратам с гофрированным мехом. Дальнейший поиск новых конструктивных решений и возможностей привёл к созданию стерео- и панорамных фотокамер.

В 1913 году так же появился прототип малоформатного фотоаппарата с размером кадра 24x36 мм. В 1925 году была изготовлена первая партия (1000 шт), получившая название "Лейка-1", с фокальным затвором, выдержками от 1/20 до 1/500 с и объективом "Эльмакс 3,5/50". Камеру отличали высокая точность изготовления и оригинальность компоновки. Последующие модернизации добавили к этому сначала стандартный рабочий отрез, позволивший работать со сменной оптикой, а затем встроенный дальномер. [21]

Глава 2. Методы проективной фотограмметрии

Проективная фотограмметрия представляет собой дисциплину, в которой обобщен накопленный опыт решения фотограмметрических задач и в значительно большей мере использованы идеи проективной геометрии. [12] В отличие от классической фотограмметрии, восстановление трехмерной модели объекта происходит без промежуточного этап преобразования трехмерного пространства в два двухмерных. Уравнения поправок для взаимного ориентирования снимков, внешнего ориентирования и уравнивания модели являются линейными. [7]

Как научное направление проективная фотограмметрия появилась в МИИГАиК и развивалось его сотрудниками начиная со второй половины XX в. Первым в фотограмметрию положения проективной геометрии ввел Мазмишвили А.И. для усовершенствования способа наименьших квадратов. Чуть позже Жуков Г.П. совместно с рядом других ученых разработал метод аналоговой фототриангуляции с преобразованными связками, а Трунин Ю.М. - метод сгущения точек проективной стереопары, основанного на векторном исчислении. [12]

Основной же вклад в обработку стереопар проективными методами внёс Калантаров Е.И.. Им была разработана теория, позволяющая находить строгие решения по снимкам, полученным любыми камерами (как с известными, так и неизвестными элементами ориентирования). [17]

Непосредственно к обработке архивным снимков с неизвестными элементами ориентирования данная теория в порядке эксперимента применялась в 80-х года XX в. Калантаровым Е.И. и Сбоевой Г.Ю. использовались разновременные одиночные снимки скульптуры «Георгий Победоносец». На их основе были решены обратная и прямая проективные засечки, построена проективная модель. Результаты работы были представлены в диссертации Г.Ю. Сбоевой и опубликованы в журнале «Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка.» за 1983 год. Части алгоритма обработки были так же представлены несколькими статьями.

2.1. Стереопhotoграмметрическая обработка снимков с неизвестными элементами ориентирования

Связь между координатами точек объекта и координатами точек его проективного изображения можно записать как:

$$R - R_s = NAr_1, \quad (1)$$

$$\text{где } R = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}; \quad R_s = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}; \quad r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}; \quad N = \frac{B_x Z_2 - B_z X_2}{X_1 Z_2 - Z_1 X_2};$$

X, Y, Z – координаты искомой точки; X_s, Y_s, Z_s – координаты центра проектирования; A – матрица аффинных преобразований (элементы не являются направляющими косинусами); x, y – измеренные координаты.

Уравнение для взаимного ориентирования проективной модели при этом имеет вид:

$$\begin{aligned} \Phi = & a_{21}^{(1)} a_{31}^{(2)} x_1 y_1 + a_{21}^{(1)} a_{32}^{(2)} x_2 y_2 + c_{33}^{(2)} a_{21}^{(1)} x_1 + c_{22}^{(1)} a_{31}^{(2)} y_1 x_2 + c_{22}^{(1)} a_{32}^{(2)} y_1 y_2 + c_{22}^{(1)} c_{33}^{(2)} y_1 + \\ & c_{23}^{(1)} a_{31}^{(2)} x_2 + c_{23}^{(1)} a_{32}^{(2)} y_2 + c_{23}^{(1)} c_{33}^{(2)} - a_{21}^{(2)} a_{31}^{(1)} x_1 x_1 - c_{32}^{(1)} a_{21}^{(2)} x_2 y_1 - c_{33}^{(1)} a_{21}^{(2)} x_2 - \\ & a_{22}^{(2)} a_{31}^{(1)} y_2 x_1 - c_{32}^{(1)} a_{22}^{(2)} y_2 y_1 - c_{33}^{(1)} a_{22}^{(2)} y_2 - a_{23}^{(2)} a_{31}^{(1)} x_1 - c_{32}^{(1)} a_{23}^{(2)} y_1 - c_{33}^{(1)} a_{23}^{(2)} = 0, \quad (2) \end{aligned}$$

где неизвестные коэффициенты $a_{ij}^{(k)}$ – 7 элементов взаимного ориентирования проективных снимков.

Для их определения по способу наименьших квадратов уравнение (2) приводят к линейному виду, составляя уравнение поправок:

$$B\delta + \Phi = V, \quad \text{где } B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{n7} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

b_i – частные производные от функции Φ по соответствующим переменным, численные значения которых получают по измеренным координатам x_1, y_1, x_2, y_2 и приближенным значениям $a_{ij}^{(k)}$; δa^T – вектор поправок к приближенным значениям неизвестных; Φ^T – вектор свободных членов; V – вектор ошибок (значений остаточных поперечных параллаксов точек стереопары).

Задача решается методом последовательных приближений. В каждой итерации получают значение вектора δa^T и исправляют приближенные значения неизвестных. Вычисления продолжают до тех пор, пока поправки не станут меньше выбранного

допуска. После чего вычисляются координаты точек полученной модели по формулам прямой засечки (1).

Затем производится внешнее ориентирование. Формулы связи между геодезическими координатами точек объекта и координатами точек проективной модели основываются на преобразовании трехмерного пространства в трехмерное и имеют вид:

$$R_r = cAR, \quad (4)$$

$$\text{где } R_r = \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \\ 1 \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & const \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix};$$

X_s, Y_s, Z_s – геодезические координаты точек объекта; X, Y, Z – фотограмметрические координаты точек модели; A – матрица преобразований с 15 неизвестными элементами внешнего ориентирования проективной модели; c – скаляр.

Решение находится способом наименьших квадратов. Для этого уравнение (4) сначала приводится к линейному виду при помощи уравнения поправок:

$$B\Delta + L = V, \quad (5)$$

где B – матрица коэффициентов уравнения поправок; Δ – вектор искомых величин; L – вектор свободных членов; V – вектор ошибок.

В рамках данной выпускной квалификационной работы планировалось экспериментально проверить описанную выше методику. Полный алгоритм обработки стереопары был записан в программном комплексе Mathcad 15. Однако недоступность сведений о критериях задания начальных приближенных значений элементов матриц взаимного ориентирования не позволила провести расчеты.

Глава 3. Методы классической фотограмметрии.

3.1. Принцип работы программного комплекса PhotoTransformer

Методика обработки фотоснимков с неизвестными элементами ориентирования, разработанная на НПП «Фотограмметрия» и реализованная в ПО PhotoTransformer, базируется на геометрических свойствах объекта и особенностях перспективы.

В основу положены, во-первых, зависимости между координатами соответственных точек вертикального и наклонного снимков:

$$\begin{cases} x_0 = f \frac{a_1(x - x_0) + a_2f + a_3(z - z_0)}{b_1(x - x_0) + b_2f + b_3(z - z_0)}; \\ z_0 = f \frac{c_1(x - x_0) + c_2f + c_3(z - z_0)}{b_1(x - x_0) + b_2f + b_3(z - z_0)}. \end{cases} \quad (1) [13]$$

где x_0, z_0 и x, z – плоские координаты точек a_0 и a соответственно.

Во-вторых, вычисление точек схода – вертикальной¹, горизонтальной² (Рис. 10) – по направляющим линиям, отмечаемым оператором на фасаде вручную (Рис. 11). Отсюда становятся очевидным требования, предъявляемые к обрабатываемым фотоснимкам – прямые линии должны изображаться близкими к прямым. Соответственно, это не могут быть материалы, полученные камерами со значительной дисторсией.

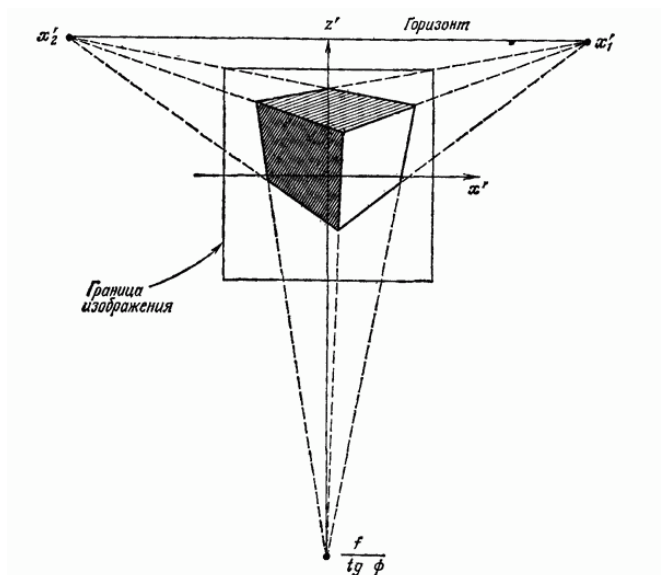


Рис 10. Точки схода [2]

¹ Точка вертикального схода – точка, через которую проходят образы всех вертикальных линий. [2]

² Точка горизонтального схода – точка пересечения образов горизонтальных линий с горизонтом фотоснимка. [2]

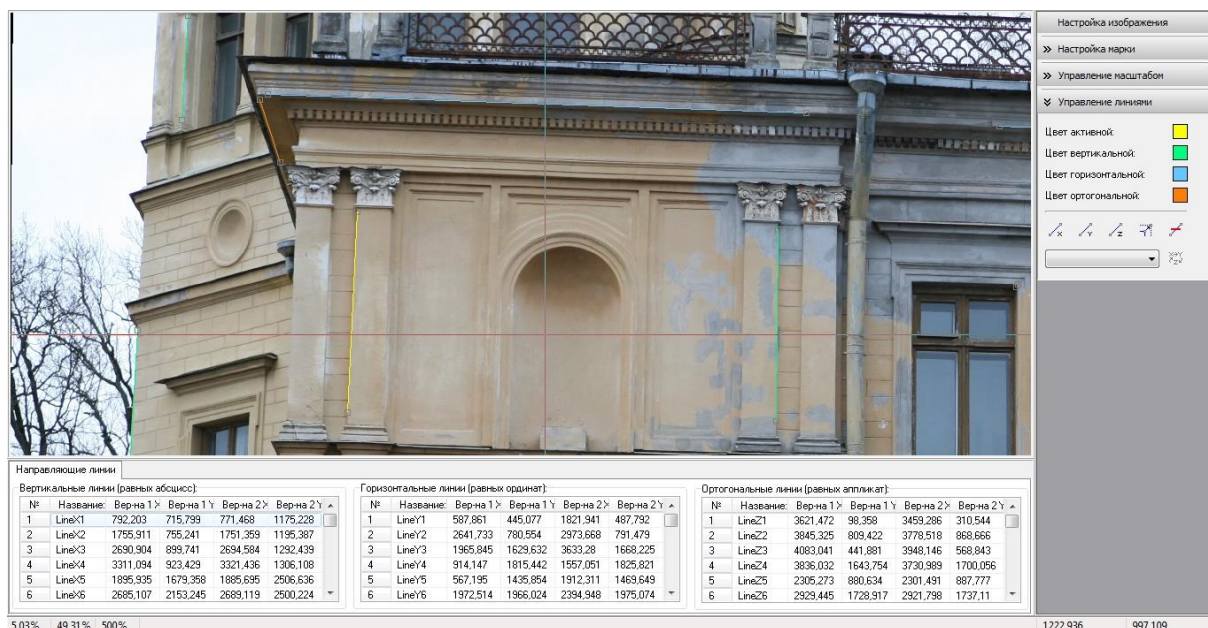


Рис. 11. Окно указания направляющих линий

Начало системы координат находится в центре снимка. Ось x направлена вправо, ось y – вверх.

Расчет элементов ориентирования проводится способом последовательных приближений и напрямую зависит от приближенных значений неизвестных (координат главной точки в особенности), указанных из визуальной оценки фотоснимка (Рис. 12, 113). Результаты записываются в отдельный файл формата .val. (Рис. 14)

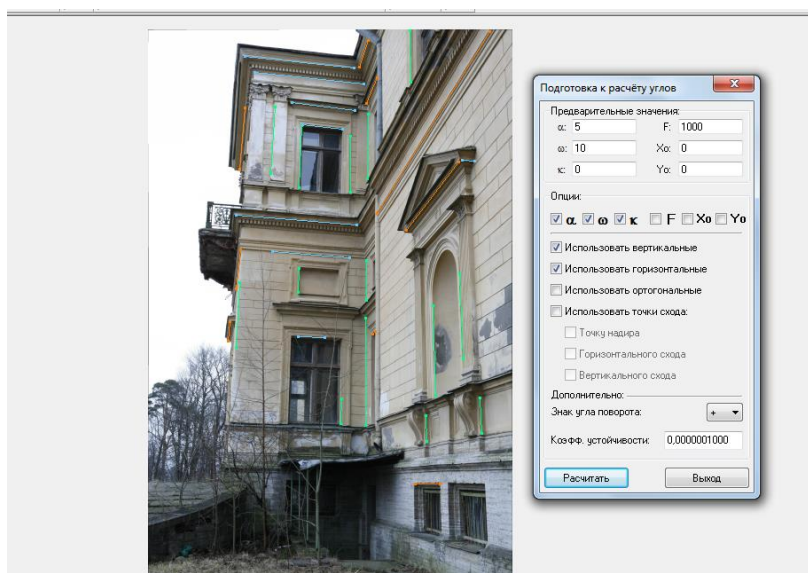


Рис. 112. Подготовка к расчету элементов ориентирования.

Элементы ориентирования:

Значения:

a : 2.56511

δa : 0.00000

ω : 3.63866

$\delta \omega$: 0.00000

κ : 1.69378

$\delta \kappa$: 0.00000

F : 1000.00000

δF : 0.00000

X_0 : 0.00000

δX_0 : 0.00000

Y_0 : 0.00000

δY_0 : 0.00000

Поправки:

δa : 0.00000

$\delta \omega$: 0.00000

$\delta \kappa$: 0.00000

δF : 0.00000

δX_0 : 0.00000

δY_0 : 0.00000

Вывод значений:

Точность вывода значений ЗО: 5

Точность вывода невязок по линиям: 3

Задать число итераций: 0

Номер итерации: 1107

Информация по линиям:

№	Название:	Невязка по X:
1	LineX1	-6.074
2	LineX2	-3.320
3	LineX3	-7.923
4	LineX4	-4.197
5	LineX5	-2.742
6	LineX6	-5.748
7	LineX7	-4.998
8	LineX8	-2.247
9	LineX9	0.612
10	LineX10	1.135
11	LineX11	-0.687
12	LineX12	-7.850
13	LineX13	0.000

Max: LineX3 -0.008

Информация по линиям:

№	Название:	Невязка по Y:
1	LineY1	5.312
2	LineY2	7.779
3	LineY3	-6.002
4	LineY4	-9.685
5	LineY5	22.168
6	LineY6	19.986
7	LineY7	7.142
8	LineY8	2.585

Max: LineY5 0.022

Информация по линиям:

№	Название:	Невязка по Z:
1	LineZ1	0.000
2	LineZ2	0.000
3	LineZ3	0.000
4	LineZ4	0.000
5	LineZ5	0.000
6	LineZ6	0.000
7	LineZ7	0.000
8	LineZ8	0.000
9	LineZ9	0.000

Max:

gbsDelta:

X1: 0.000 X2: 0.000 X3: 0.000

Y1: 0.000 Y2: 0.000 Y3: 0.000

Рис. 123. Окно расчета элементов ориентирования.

Elements0 — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

* Phototransformator Orientation Elements File *

[COMMON]

Enabled=1

[ELEMENTS]

Xs=31.2728509471405

Ys=101.029216901989

Zs=16.3590298356904

Alpha=7.82518591782408

Omega=8.40109927328636

Kappa=-0.517846754830417

Focus=8.293109

Xo=0.009707

Yo=0.049476

Рис. 134. Пример записи элементов ориентирования.

3.2. Обработка одиночных снимков в программном комплексе PhotoTransformer

Исследование точности расчётов по направляющим линиям проводилось в три этапа:

1. Обработка исходных калиброванных снимков, чтобы исключить влияние дисторсии.
2. Обработка снимков, обрезанных в Adobe Photoshop CC 2015 для смещения главной точки относительно центра.
3. Обработка частично трансформированных снимков. Трансформирование проводилось таким образом, чтобы остаточные значения угловых элементов ориентирования были довольно малы (как правило, $<1^\circ$). Это позволило симитировать обработку архивных снимков, полученных камерами с подвижной объективной доской.



а)



б)



в)

Рис. 15. Снимок 023: а) - исходный калиброванный, б) – калиброванный частично трансформированный, в) - калиброванный обрезанный

Перед началом обработки фотоснимков была проведена трансформация нескольких кадров (Рис. 16) с целью выяснить, как и в какой мере величины каждого из угловых элементов внешнего ориентирования влияют на изображение объекта.



Рис. 146. Снимок 041.

а) $\alpha=5^\circ$, $\omega=\kappa=0^\circ$; б) $\alpha=15^\circ$, $\omega=\kappa=0^\circ$; в) $\omega=5^\circ$, $\alpha=\kappa=0^\circ$; г) $\omega=15^\circ$, $\alpha=\kappa=0^\circ$; д) $\kappa=5^\circ$, $\alpha=\omega=0^\circ$; е) $\alpha=\omega=0^\circ$.

В ходе экспериментов была определена оптимальная последовательность работы:

1. Указание направляющих линий на фотоснимке по наиболее чётким контурам. При этом учитывая, что геометрию декоративных элементов фасада (таких как пилястры) всегда необходимо ставить под сомнение, как и кажущиеся прямыми углы между примыкающими друг к другу частями постройки.
2. Задание приближенных значений всех элементов ориентирования.
3. Определение угловых элементов внешнего ориентирования по горизонтальным и вертикальным линиям.

4. Определение фокусного расстояния с одновременным уточнением угловых элементов по горизонтальным и вертикальным линиям, точке надира и точке горизонтального схода (кроме случаев, когда исключение точки вертикального схода приводит к бесконечному заикливлению расчетов).
5. Уточнение фокусного расстояния и координат главной точки при помощи тех же параметров, что были использованы в пункте 2.

Конечные результаты каждого из трех этапов исследования заносились в таблицу (Приложение А). Средние отклонения вычисленных значений от эталонных (исключая несколько явно ошибочных фокусных расстояния) по модулю составили:

Таблица 1.

	для исходных	для обрезанных	для трансформированных
$\alpha, ^\circ$	0,469525845	0,568441916	1,07029E+13
$\omega, ^\circ$	0,385033285	0,407394142	0,673654633
$\kappa, ^\circ$	0,111885005	0,096184551	0,160468811
f, px	287,8280678	230,7203466	479,8057383
x_0, px	28,44872168	69,75534251	66,7045718
y_0, px	23,74662944	94,23580159	95,78013843

Разница в получаемых значениях фокусного расстояния и элементов внешнего ориентирования между исходными и обрезанными фотоснимками при этом объясняется не только изменением координат центра проекции, но и несоответствиями в определении линий. На каждом этапе работы они указывались вручную заново.

3.3. Обработка стереопар в программном комплексе Agisoft PhotoScan Professional

Так как наличие трехмерной модели значительно упрощает создание чертежа, возможности программного комплекса Agisoft PhotoScan Professional применительно к архивным снимкам также были исследованы в данной работе.

Для этого из материалов съемки фасадов дворцово-паркового ансамбля «Михайловская дача» были выбраны три пары и одна тройка снимков (в двух вариантах: исходном и частично трансформированном). Перед началом исследования они были скопированы. Вся информация о камере и параметрах съемки, хранящаяся в EXIF³, удалена.



Рис. 15. Стереопара из снимков 049 и 051

После чего проводилось ориентирование («выравнивание» в терминах программы) фотоснимков с уточнением фокусного расстояния и координат главной точки, которое можно условно разделить на два блока:

1. Обработка исходных фотоснимков, исправленных за дисторсию в автоматическом режиме и с указанием соответственных точек вручную (Рис. 16).
2. Обработка трансформированных фотоснимков в полностью автоматическом режиме, с заданием калибровки на основе расчетов в PhotoTransformer, с калибровкой и ручной постановкой маркеров.

³ EXIF (Exchangeable image format) - стандарт универсальных заголовков файлов. Предусматривает хранение в одном файле данных изображения или музыки, их уменьшенных копий (для JPEG рекомендуется 160×120) и подраздела текстового описания данных. [?]

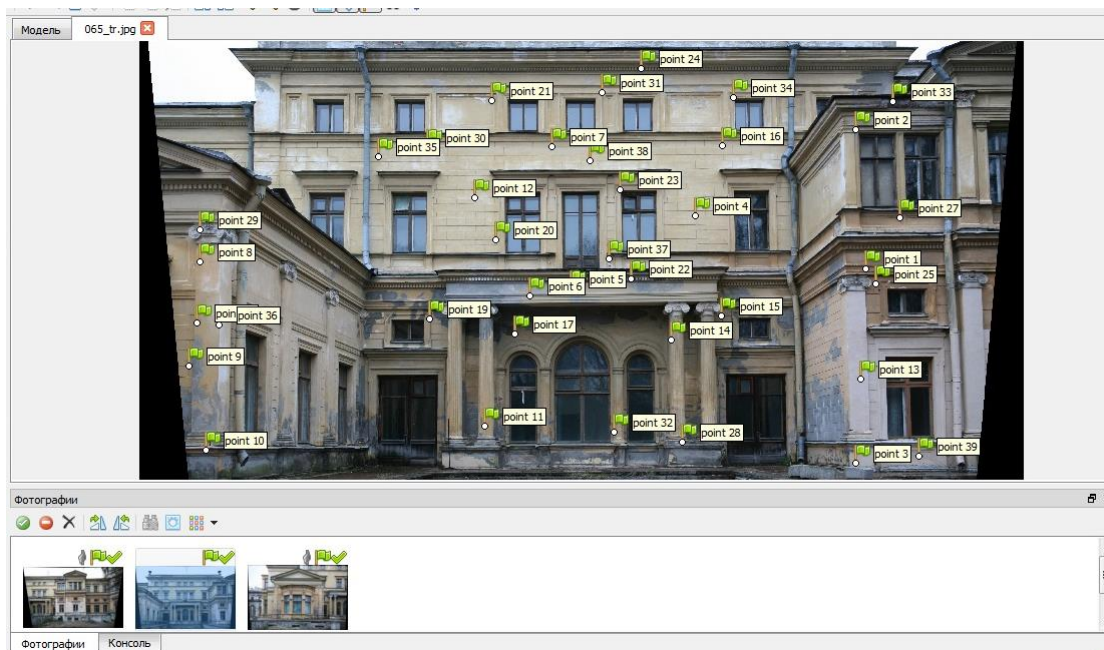


Рис. 16. Расстановка маркеров в ручном режиме.

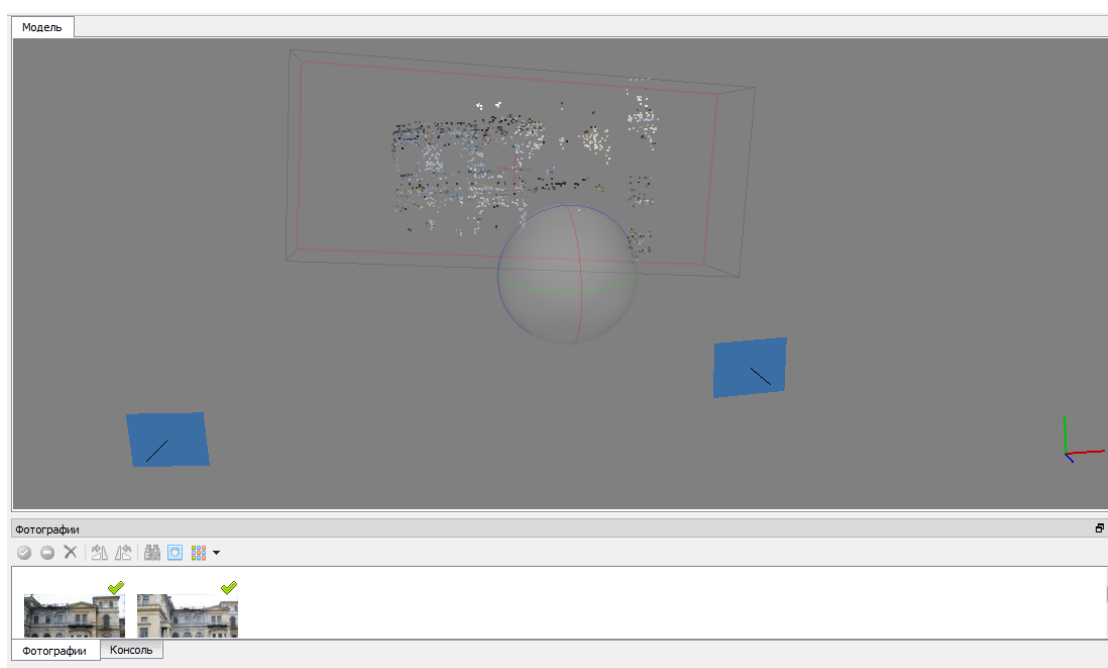


Рисунок 17. Результат уравнивания фотоснимков – облако точек.

В каждом случае рассчитанные значения фокусного расстояния и координат главной точки фотоснимка заносились в таблицу (Приложение Б) и сравнивались с результатами, полученными на основе опорных точек в программном комплексе PhotoTransformator.

При анализе полученных значений становится понятно, что исследуемая программа изначально не предусматривает большие смещения главной точки относительно центра. В любых вариантах обработки программа стремится минимизировать значения x_0 и y_0 , искажая положение камеры и остальные элементы ориентирования. Значения калибровки при этом не могут существенно исправить ситуацию, так как сомнению не подвергаются и мало меняются после уточнения положения камеры.

Таким образом, можно сделать вывод, что использовать программный комплекс Agisoft PhotoScan Professional как единственный инструмент при работе с архивными снимками не целесообразно.

Заключение

В результате проделанной работы можно сказать, что программный комплекс PhotoTransformer в настоящее время является наилучшим вариантом для обработки архивных снимков с неизвестными элементами ориентирования.

Конечно, расчеты в нём нельзя назвать идеальными. Корреляция элементов ориентирования между собой, человеческий фактор (ошибки с определением приблизительного положения главной точки, неаккуратное указание направляющих линий), недостаточная четкость контуров на обрабатываемом снимке безусловно приведут к серьезным ошибкам.

Однако других удовлетворительных решений для фотограмметрической обработки фотоснимков с неизвестными элементами ориентирования на сегодняшний день не представлено.

Программный комплекс Agisoft Photoscan Professional не может в полной мере конкурировать с PhotoTransformer из-за неточного определения главной точки, если она значительно удалена от центра снимка. К тому же, в нём нет возможности работать с одиночным снимком, а даже пару снимков с достаточным перекрытием в архивных материалах найти не всегда удастся.

Основным результатом практической части данной выпускной квалификационной работы, подтверждающим эти выводы, явились таблицы Приложения 2 и 3. Для удобства сравнения в них содержатся как эталонные значения элементов ориентирования, так и рассчитанные на каждом этапе исследования.

Таким образом, поставленные задачи этой работы следует считать выполненными, а цели достигнутыми.

Список использованной литературы

1. Кантел Бажак. История фотографии. Возникновение изображения: пер. с франц. А. Кавтаскина. - М.: АСТ: "Астрель", 2006, 159 с.
2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. Перевод с английского Г. Г. Вайештейнв и А. М. Васьковского, под редакцией В. Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1976, 509 с.
3. Калантаров Е.И. К теории методов фотограмметрии (в порядке обсуждения) // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1979. № 5. С. 85-89.
4. Калантаров Е.И., Говоров А.В., Никишин Д.А. Результаты уравнивания блочных сетей фототриангуляции на основе аффинных и проективных преобразований. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2004. № 4. С. 44-53.
5. Калантаров Е.И., Говоров А.В., Никишин Д.А. Универсальные методы цифровой фотограмметрии. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2003. № 6. С. 47-55.
6. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Вопросы проективной фотограмметрии // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1997. № 6. С. 100-111.
7. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Комбинирование методов проективной и традиционной фотограмметрии. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2004. № 4. С. 96-103.
8. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Обработка архивных снимков методами проективной стереофотограмметрии // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1983. № 6. С. 62-65.
9. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Построение проективной модели // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1983. № 3. С. 78-82.
10. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Проективная стереофотограмметрия. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1999. № 1. С. 74-83.
11. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю. Решение обратной и прямой фотограмметрической засечки по проективным снимкам // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1983. № 4. С. 72-76.
12. Калантаров Е.И., Сбоева Г.Ю., Говоров А.В. Проективная фотограмметрия. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2000. № 2. С. 92-99.
13. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для ВУЗов. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984, 552 с.

14. Никишин Д.А. Разработка и исследование методов цифровой наземной стереофотограмметрической съемки: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2004, 159 с.
15. Руководство пользователя AgisoftPhotoScan: ProfessionalEdition, версия 1.2. - СПб.: ООО "ЖивойСофт", 2016, 110 с.
16. Руководство пользователя PhotoTransformerUniversal, версия 3.3.10. - СПб.: НПП "ФОТОГРАММЕТРИЯ", 2009, 35 с.
17. Сбоева Г.Ю. Стереофотограмметрический метод обработки проективных снимков: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. —М., 1983, 175 с.

Ресурсы сети Интернет:

18. <http://www.antiq-photo.com/spip.php?article1226>
19. <http://black2colour.weebly.com/first-ever-made-cameras.html>
20. <http://www.foto-magia.ru/evolution-phototech.html>
21. <http://foto-mig.com/index.php/uchebnye-materialy/29-stati/47-istoriya-fotografii>
22. http://fotomtv.ru/stati/istoriya_razvitiya_fotografii_i_kameri_-_obskuri/
23. <http://terra-z.com/archives/24815>
24. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дагеротипия>
25. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Калотипия>
26. https://ru.wikipedia.org/wiki/Подвижки_фотоаппарата
27. <http://www.ixbt.com/digimage/metadxph.shtml>

Приложение А.

Обработка фотоснимков в программном комплексе PhotoTransformer

Таблица А.1 - Результатов измерений

	Значения, полученные по опорным точкам	Значения, полученные при обработке исходного калиброванного снимка	Количество обрезанных пикселей	Значения, полученные при обработке обрезанного калиброванного снимка	Значения элементов ориентирования после частичного трансформирования	Значения, полученные при обработке частично трансформированного снимка
023						
α	-0.800819	-1,967	В=0 Н=390 Л=0 П=1188	-2.64178	-0.80081920882129	-0,30504
ω	11.963108	12,72306		12.39605	1.9631078323153	1,57782
κ	1.007809	0,92277		1.2123	1.00780892344489	0,89488
f	5115,0	5441,87122		5521.72681866091	5115	4053,55179
x_0	17,0	0,671064226080186		501.01216083797	18.1784238007043	132,3007
y_0	2,0	2,20619352148891		-292.936971777628	-976.211174553694	-1337,62189
025						
α	1,95383	3,2689279103223	В=0 Н=552 Л=0 П=592	0.95681	0.95383	1.68776
ω	11,87909	11,5223741215216		11.3749	1.87909	2.44922
κ	1,10192	0,874975798648795		1.29377	0.10192	0.06747
f	7046,52	7520,20054643524		7686.5419049398	7046.52	6656.30635
x_0	3,77618176540042	192,807283003469		200.147855734623	-86.0815654906392	-0.250573617201997
	34,4527850997033	81,2484577358229		-201.254273732144	-1339.31118047116	-1405.44696603189
031						

α	1,36429	1,14494	B=0 H=756 Л=480 П=0	1.20856437721224	0.36429	1.25182
ω	2,12741	3,13174		2.37967095048582	0.12741	-2.36474
κ	0,89824	0,88445		0.801454417842337	0.89824	0.60392 (0,76744)
f	3014,92028430038	3486,86032		3678.29120926082	3014.92028430038	4268.4754
x_0	14,2207068620233	17,59132		-223.13805	-69.0910801141886	-1.72203270862979
y_0	1,19728278475249	13,13527		-229.52165	-132.799635474032	-195.079875255518
032						
α	2.30487	2,74937	B=0 H=960 Л =594 П=0	2,77195	0.30487	1.40902634626061
ω	0.87321	1,2313		1,35545	0.87321	1.30383876036827
κ	0.38457	-0,07342		-0,11367	0.38457	0.194873507047661
f	3014.0460437891	2196,98254		2263,90136	3014.0460437891	3175.02244
x_0	14.339641106985	0,01194		-300,20593	-150.683980814979	-166.77035
y_0	1.39341437606228	-4,98189		-540,54875	1.4316748868447	21.2249
041						
α	-0.02587	-0.362206014951206	B=0 H=1136 Л=0 П=0	-0.335473733649192	-0.02587	-0.1204
ω	17.55114	17.4705772166997		18.0509452777368	2.55114	0.75891
κ	-1.32245	-1.3174419623071		-1.36245944311458	-0.32245	-0.42464
f	3014.44201624275	3038.83855		3116.8652	3014.44201624275	977.423000830194
x_0	-1.34074083655514	-3.39263		-3.22765	-46.952342393203	-21.7062510016418
y_0	14.200873409556	-0.80497		-501.46266	-1314.55126397234	-1439.91198222096
044						

α	5.76041	5.71916158936086	B=444 H=0 Л=318 П=0	5.47143659182008	0.76041	1.21518443890287
ω	10.81249	11.3594557869969		9.89701802209003	0.81249	0.596447928333604
κ	0.31232	0.325597981148157		0.185919683946167	0.31232	0.275266644927244
f	7046.14194959042	7526.59201		6627.51398	7046.14194959042	7442.61099
x_0	34.4400475789683	0.03159		-101.84068	645.019982153742	500.44108
y_0	-3.78206537120908	-0.46646		-150.41542	-1343.32276936477	-1430.37182
046						
α	1.29581316604154	1.64928625315887	B=0 H=792 Л=480 П=0	1.26054268378549	0.29581316604154	0.70116
ω	11.1200966626724	10.9434408742931		11.0321372843855	0.120096662672401	-0.24069
κ	0.826120325299388	0.684911928843579		0.854149742094392	0.826120325299388	0.67719
f	7046	7028.2964		7288.42222	7046	6664.70355661089
x_0	4	-0.07383		-300.07647	-124.765460488236	-232.58992184596
y_0	34	1.01411		-399.07031	-1474.82479982753	-1632.72474310965
051						
α	-0.57273	-0.432607695572602	B=246 H=0 Л=0 П=0	-0.53764	-0.57273	-0.832846642835062
ω	10.96281	10.7134211190676		10.66767	2.96281	2.52096167092185
κ	-0.83661	-0.772314209875706		-0.78082	-0.83661	-0.723554508031845
f	5116.79530408762	5330.66544		5207.91965727993	5116.79530408762	5074.07962145691
x_0	16.6643578491645	0.03279		-0.009849768207013	17.5320263092802	-9.12469
y_0	2.25384262691469	0.19052		99.9559422864816	-776.938275919491	-842.94194
065						

α	0.1922	-0.12508	B=156 H=0 J=0 I=0	-0.11445	0.1922	0.53248
ω	13.99238	14.06307		13.39779	3.99238	4.62424
κ	-0.3885	-0.44237		-0.38689	-0.3885	-0.84448
f	4183.37786086931	4263.66273435861		4084.72260659912	4183.37786086931	4428.9709458816
x_0	16.0172554785797	1.15346841458027		1.40488310542715	17.343327769102	54.7119866914017
y_0	0.995905380263862	1.11233131292397		1.84270490707781	-831.781456676913	-773.296195850458
068						
α	-1.72048	-1.71047	B=0 H=0 J=0 I=366	-2.37638	-0.72048	-1.05051
ω	7.5869	8.12133		7.90968	1.5869	1.73542
κ	0.90772	0.79673		0.90434	0.90772	0.67837
f	6028.62263194112	5654.89684199472		5945.92793109586	6028.62263194112	6469.16251
x_0	25.7129639423686	0.793687839157326		101.17403885532	146.410707801958	65.851701038208
y_0	4.70173057287325	11.3877862516167		21.3240836453774	-670.890025169783	-618.402469667839
091						
α	1.98991	1.70662352144588	B=0 H=0 J=0 I=744	3.23417023431887	1.48991	1.4962
ω	4.51804	5.24288801147186		5.31880497587915	1.01804	1.75469
κ	0.0485	0.200696689374803		0.0883561518843639	0.0485	0.17714
f	8293.05362000745	8699.58139430946		8138.96548445201	8293.05362000745	8651.33398199973
x_0	49.473479724292	0.02739		599.63144	-27.2699618963135	-36.0987225350428
y_0	-9.70348241199514	139.60537		35.72147	-533.687457865414	-414.88510724369
097						

α	2.42111	1.83105	B=0 H=0 Л=0 П=780	1.53213	1.42111	1.99843615213077
ω	7.68078	7.28191		7.45523	0.68078	-0.07315
κ	0.31031	0.39236		0.32886	0.31031	0.27944
f	8291.85141455035	8832.31719906173		8459.60720427243	8291.85141455035	8611.4342917374
x_0	49.3844330372594	0.0427350189971593		300.115782656551	-104.219668028132	-103.10219
y_0	-9.67027864884307	-1.67886385785348		-3.61455249397296	-1064.43988883303	-1071.27117
101						
α	9.53268	9.75888	B=0 H=800 Л=519 П=0	9.24319	1.53268	0.72869
ω	15.80364	16.3019		15.89835	1.80364	2.26872
κ	1.25484	1.17165		1.22738	1.25484	1.48523
f	5114.89850643676	5097.12350921662		5149.51883947145	5114.89850643676	4962.98449087529
x_0	-2.41777718449674	-3.33427875453155		-301.41946683814	-801.732742906927	-921.680059127829
y_0	16.7322899015284	41.688831483421		-381.245173117112	-1602.64481735199	-1569.80669799347
038						
α	14.27426	12.35926	B=0 H=544 Л=528 П=0	13.37491	2.27426	1.42784
ω	8.07635	8.13785		7.04827	1.07635	0.49417
κ	2.47249	2.64389		2.46978	0.47249	0.61293
f	7046.33456383894	7255.0106493606		7036.85383413127	7046.33456383894	7400.76496281892
x_0	3.75399510572619	9.12504145631589		-200.520550143341	-1510.33826789868	-1401.14251677384
y_0	34.4308210162039	69.7746078144844		-294.110384103769	-1029.86740499493	-943.857359827135
042						

α	8.66042	8.32843	B=544 H=0 Л=511 П=0	7.74468	1.66042	1.71245948823646
ω	14.98662	14.65073		15.20681	1.48662	1.89759046446191
κ	-1.34924	-1.34856		-1.28051	-1.34924	-1.11137360509636
f	5114.92427950888	5160.33693087727		5250.67174153225	5114.92427950888	6275.18946
x_0	-2.41745851953492	14.5006372587375		-299.280013286654	-699.507112838448	-758.62058
y_0	16.7279717998108	-6.81929381299716		345.110695262082	-1527.58746042109	-1359.51008
088						
α	2.49921	2.28697	B=0 H=498 Л=0 П=342	1.59735	1.49921	1.52236
ω	6.58938	7.20861		7.1658	0.58938	1.48947
κ	-1.02518	-0.77694		-0.69768	-0.52518	-0.88675
f	7046.067003929	7022.14461144714		7201.66393941086	7046.067003929	1768.25665721557
x_0	34.447584816967	-0.317744850870789		99.8963792324293	-112.255152212167	-276.55053
y_0	-3.7639604019939	7.38957346764297		-198.043661408641	-769.269527810438	-842.1023

Приложение Б.

Обработка фотоснимков в программном комплексе Agisoft PhotoScan Professional

Таблица Б.1 - Результаты измерений стереопары №1

Элементы ориентирования исходного калиброванного снимка				Элементы ориентирования частично трансформированного снимка			
	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные по маркерам	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные с калибровкой	Рассчитанные с калибровкой по маркерам
044							
α	5.76041			0.76041			
ω	10.81249			0.81249			
κ	0.31232			0.31232			
f	7046.14194959042	6922.88	7062.71	7046.14194959042	7973.32	7441.7	7721.1
x_0	34.4400475789683	-12.7154	0.924733	645.019982153742	-22.0148	502.314	541.926
y_0	-3.78206537120908	37.6659	45.4294	-1343.32276936477	-100.462	1429.26	1466.26
046							
α	1.29581316604154			0.29581316604154			
ω	11.1200966626724			0.120096662672401			
κ	0.826120325299388			0.826120325299388			
f	7046	6909.23	7042.77	7046	8041.42	6661.23	6938.46
x_0	4	5.22855	18.0133	-124.765460488236	243.247	-253.203	-389.146
y_0	34	34	4.78208	-1474.82479982753	66.4326	1631.55	1687.7

Таблица Б.2 - Результаты измерений стереопары №2

	Элементы ориентирования исходного калиброванного снимка			Элементы ориентирования частично трансформированного снимка			
	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные по маркерам	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные с калибровкой	Рассчитанные с калибровкой по маркерам
049							
α	-8.91075			-1.41075			
ω	11.00456			1.00456			
κ	1.17047			1.17047			
f	6028.65225218665	8443.94	5262.87	6028.6522521866	7613.4	7675.98	7716.15
x_0	25.714692125914	-201.83	99.7985	940.63195577029	-62.2466	1006.53	575.431
y_0	4.69720330308649	45.0902	74.5023	-1193.6274103953	61.5749	1050.94	987.249
051							
α	-0.57273			-0.57273			
ω	10.96281			2.96281			
κ	-0.83661			-0.83661			
f	5116.79530408762	7841.43	4522.78	5116.7953040876	6991.46	5379.44	5025.73
x_0	16.6643578491645	-136.35	43.561	17.532026309280	-530.211	-115.042	-167.612
y_0	2.25384262691469	106.186	91.2437	-776.93827591949	-102.778	813.702	851.552

Таблица Б.3 - Результаты измерений стереопары №3

Элементы ориентирования исходного калиброванного снимка				Элементы ориентирования частично трансформированного снимка			
	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные по маркерам	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные с калибровке	Рассчитанные с калибровкой по маркерам
088							
α	2.49921			1.49921			
ω	6.58938			0.58938			
κ	-1.02518			-0.52518			
f	7046.067003929	3800.84	6782.14	7046.06700392	8433.58	7030.59	
x_0	34.447584816967	0.764164	-54.5111	-112.25515221216	-202.394	-132.362	
y_0	-3.7639604019939	-0.231999	77.8259	-769.26952781043	103.333	886.763	
091							
α	1.98991			1.48991			
ω	4.51804			1.01804			
κ	0.0485			0.0485			
f	8293.05362000745	3861.87	8018.15	8293.0536200074	9305.36	9681.26	
x_0	49.473479724292	-2.16493	66.1949	-27.269961896313	285.274	88.7654	
y_0	- 9.70348241199514	0.688344	30.7118	-533.68745786541	-134.97	-392.409	

Таблица Б.4 - Результаты измерений тройки снимков

Элементы ориентирования исходного калиброванного снимка				Элементы ориентирования частично трансформированного снимка			
	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные по маркерам	Эталонные значения	Рассчитанные автоматически	Рассчитанные с калибровке	Рассчитанные с калибровкой по маркерам
062							
α	-0.00872			-0.00872			
ω	14.60694			2.60694			
κ	-0.81819			-0.81819			
f	3014.30541492854	4885.5	3041.67	3014.3054149285	6679.84	2015.72	3420.22
x_0	14.2536008752434	-123.815	-9.01654	16.312656379721	-45.9797	204.989	701.487
y_0	1.31288109567287	-13.1136	-34.0116	-810.29154421015	71.9399	966.979	874.496
065							
α	0.1922			0.1922			
ω	13.99238			3.99238			
κ	-0.3885			-0.3885			
f	4183.37786086931	4574.27	4225.04	4183.3778608693	8020.29	4823.03	5294.6
x_0	16.0172554785797	-62.8832	118.288	17.343327769102	-36.85	122.655	335.924
y_0	0.995905380263862	42.9138	-32.9812	-831.78145667691	64.4043	806.033	753.216
068							
α	-1.72048			-0.72048			
ω	7.5869			1.5869			

κ	0.90772			0.90772			
f	6028.62263194112	6470.36	5914.91	6028.6226319411	11779.4	7064.08	7955.1
x_0	25.7129639423686	-97.3316	393.369	146.41070780195	-17.4457	53.5166	-178.836
y_0	4.70173057287325	158.191	10.6991	-670.89002516978	118.469	715.438	842.542